

地上型 LiDAR のレーザー波長特性を利用した 物体判読手法の開発

1110360 山西 恭平

高知工科大学工学部社会システム工学科

地上型LiDARのレーザー波長特性を利用した物体判読手法の開発を行った。LiDAR(Light Detection And Ranging)とは、計測対象物に対してレーザー光を照射し、その散乱光を測定することにより、計測対象物までの斜距離、水平角、鉛直角を一定の間隔で広範囲に取得する測量機器である。LiDARは、計測対象物の形状は捉えられるが、物体判読を行うことはできない。そこで、レーザー波長の異なる2種類の地上型LiDARデータを用いて、物体判読手法の開発を試みた。レーザー光が計測対象物に反射する際の反射強度を利用することにより、点群データを植物、コンクリート、反射シートの3項目に判読することができた。コンクリートの判読については、正解率90%を越えるものであった。今後は、距離によるレーザー光減衰の影響を考慮した手法の開発を行い、精度を高める必要がある。

Key Words : 地上型 LiDAR, 物体判読, 反射強度, 標準ユークリッド距離

1. 背景

現在、LiDAR(Light Detection And Ranging)は様々な用途に利用されている。LiDARは、広範囲の計測に最適であるため、航空機搭載型LiDARによる森林計測や、地上型LiDARによる地形測量などに利用されており、その用途は多岐にわたる。

高木研究室では、「地すべりの変位抽出」という目標を達成すべく、高知県吾川郡仁淀川町長者地区の長者地すべりにて、地上型 LiDAR(以下、LiDAR と呼ぶ)による地すべりの変位計測を継続的に行っている。その計測対象は地すべり末端部の護岸工である。地上型 LiDAR による計測は、地すべりのような広範囲の計測には最適であるが、物体の形状を計測するのみで、物体判読を行うことはできない。物体判読を行うことができれば、計測対象物である護岸工のみの点群データを得ることができ、護岸ブロックの自動抽出が期待できる。

2010年、高木研究室は2台目となるLiDARを導入した。従来から使用しているLiDARのレーザー波長は900nm(近赤外域)、新たに導入したLiDARのレーザー波長は532nm(可視域)とそれぞれ波長が異なる。植物、コンクリート、反射シートの分光反射特性と、それぞれのLiDARのレーザー波長を図1-1に示す。一般的に、植物はコンクリートに比べ、可視域の電磁波に対する反射率は小さいが、近赤外域の電磁波に対しては、コンクリートを遥かに上回る反射率を示す。また、反射シートは、どの波長帯の電磁波に対しても非常に高い反射率を示す。したがって、それぞれのLiDARのレーザー波長特性を利用することにより、物体判読が可能と期待できる。

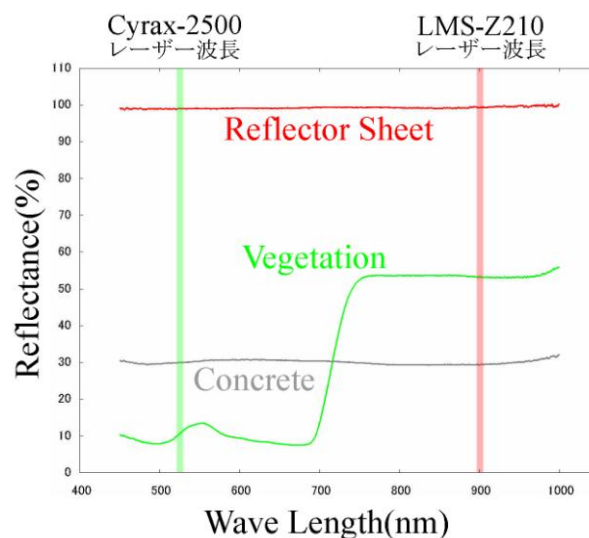


図1-1 物体による分光反射特性とそれぞれのLiDARのレーザー波長

2. 目的

本研究の目的は2種類のLiDARにより取得した点群データを用いて、反射強度特性を基に物体判読の手法を開発することである。物体判読を行うことによって、大容量、広範囲のLiDARデータから、計測対象物のみの点群データの自動抽出を目指す。

3. 使用機材

本研究で使用したLiDARは、Riegl社製のLMS-Z210とLeica-Geosystems社製のCyrax-2500である。LiDARが1点につき取得する情報は、斜距離、水平角、鉛直角、3次元座標、反射強度である。どちらのLiDARも計測所

要時間は約15分とあまり差はないが、LMS-Z210は、有効計測距離2m～350m、視野角80°×333°とかなり広範囲のデータを取得できる。一方で、Cyrax-2500は、有効計測距離2m～100m、視野角40°×40°と計測範囲では劣るものの、測距精度は±6mmと、LMS-Z210の±25mmよりも高精度である。なお、本論文中では、LMS-Z210により取得されたデータをLMSデータ、Cyrax-2500により取得されたデータをCyraxデータと呼ぶ。LiDARの外観を図3-1に、仕様を表3-1に示す。



図3-1 LMS-Z210 Cyrax-2500
LiDARの外観

表 3-1 LiDAR の仕様

	LMS-Z210	Cyrax-2500
計測範囲	2m～350m	2m～100m
計測視野	80°×333°	40°×40°
測距精度	±25mm	±4mm
計測原理	Time of Flight 法	
レーザー波長	900nm	532nm
計測所要時間	約 15分	

4. 計測対象

本研究では、高知県吾川郡仁淀川町長者地区の長者地すべりを計測対象地とした。長者地すべりは、仁淀川水系長者川の右岸に位置する、国内でも有数の大規模地すべりである。高木研究室では、長者川右岸の護岸工のLiDAR計測を継続的に行っている。この護岸工は地すべりの末端部に位置しているため、護岸工を構成する護岸ブロックの面的形状を継続的に計測することにより、地すべりの変位抽出が期待されている。本研究における判読項目は、計測対象地内に存在する、植物、コンクリート、反射シートの3項目とする。護岸工の外観、各種検証エリア、サンプル取得エリアを図4-1に示す。

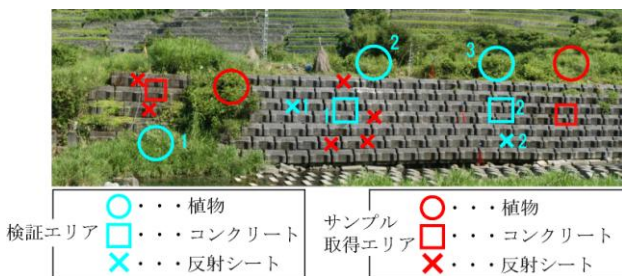


図 4-1 計測対象地の状況

5. 判読手法

5.1. 判読手法の概要

物体判読手法の概要を示す。まず、計測により得られたLMSデータとCyraxデータをそれぞれ幾何補正し、座標系の統一を行う。次に、各判読項目における代表的な反射強度のサンプリングを行う。そして、サンプリングデータから算出された反射強度の統計量と各点の反射強度を比較し、判定する。判読手法の概要を図5-1のフローチャートに示す。

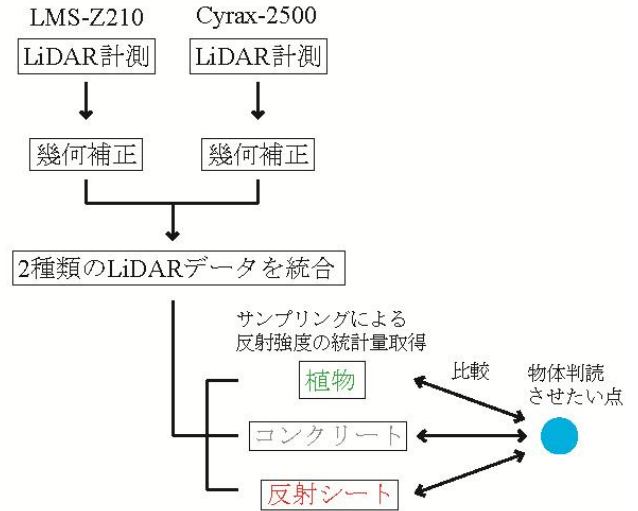


図 5-1 判読手法の概要

5.2. 2種類のLiDARデータの統合

LiDAR計測は、それぞれのLiDARの計測範囲が異なるため、別々の地点から行った。したがって、計測によって得られた2種類のLiDARデータを幾何補正し、座標系の統一を行う必要がある。座標系は平面直角座標系の第4系に統一した。幾何補正には3次元affine変換を使用した。3次元affine変換式を以下に示す。

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_0 & p_1 & p_2 \\ p_3 & p_4 & p_5 \\ p_6 & p_7 & p_8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}$$

(x_i, y_i, z_i) : 地上座標

(u_i, v_i, w_i) : LiDAR座標

(x_0, y_0, z_0) : LiDAR位置座標

(p_0, \dots, p_8) : 変換パラメーター

幾何補正によりLMSデータとCyraxデータの重ね合わせが可能となった。また、LMSデータとCyraxデータではデータ量が大きく異なる。同じ範囲を計測した場合、LMSデータの点数は、Cyraxデータの1/8程度である。そこで、LMSデータとCyraxデータの点数を一致させるために、LMSデータの点から最近傍に存在す

る Cyrax データの点を探索し、統合を図った。統合により、各 3 次元座標に LMS データ, Cyrax データ双方の反射強度情報を持たせた。図 5-2 に LMS データと Cyrax データの統合のイメージを示す。

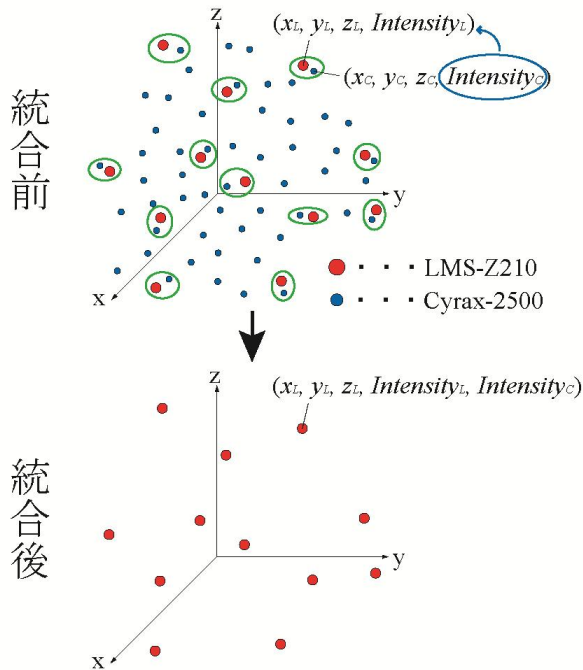


図 5-2 LMS データと Cyrax データの統合のイメージ

5.3. 代表的な反射強度のサンプリング

3 種類の判読項目における代表的な反射強度のサンプリングを行った。重ね合わせた LiDAR データから、目視判読により、間違いなく植物、コンクリート、反射シートであると見なされる点群データを抽出した。サンプルとして抽出した点数は、植物、コンクリートでそれぞれ 140 点、反射シートで 95 点である。サンプリングを行った箇所は図 4-1 に示している。また、サンプリングされた各項目について、LMS データと Cyrax データにおける反射強度の散布図を図 5-3 に示す。

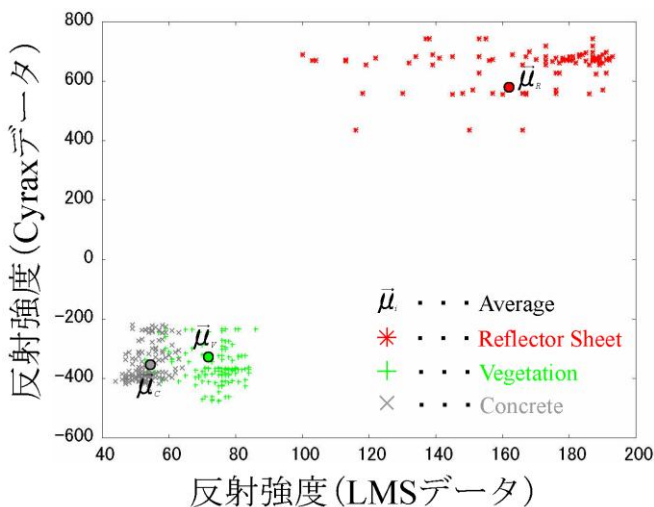


図 5-3 LMS データと Cyrax データにおける反射強度の散布図

図 5-3 における反射強度の分布状況は、各項目ごとに特徴的な分布を示している。したがって、このサンプリングデータは物体判読に十分利用可能であると判断した。

5.4. サンプリング結果との比較による物体判読

サンプリングデータの統計量に基づき、標準ユークリッド距離を用いて物体判読を行った。標準ユークリッド距離について解説する前に、ユークリッド距離について解説を行う。ユークリッド距離とは、各判読項目のサンプリングデータの平均値と判読したいデータとの距離である。そして、この距離が最も近い判読項目へ割り当てる判読手法がユークリッド距離を用いた判読手法である。このユークリッド距離に統計量の分散を考慮させたもの、つまり、分散行列の逆行列を乗じたものが標準ユークリッド距離である。標準ユークリッド距離の計算式を以下に示す。この式を用いれば、サンプルのばらつきを考慮することができる。

$$d_i^2 = (\bar{x} - \bar{\mu}_i)^T \cdot \mathbf{S}^{-1} \cdot (\bar{x} - \bar{\mu}_i)$$

- i : 判読項目
- d_i^2 : 標準ユークリッド距離
- \bar{x} : 物体判読させたい点の反射強度
- \mathbf{S} : 分散行列
- $\bar{\mu}_i$: サンプリングデータの平均値

この距離計算を、LiDAR データ内において物体判読をさせたい全ての点に対して行い、植物、コンクリート、反射シートとの標準ユークリッド距離において、最短距離となる項目を判読結果とした。図 5-4 に標準ユークリッド距離による判読のイメージを示す。

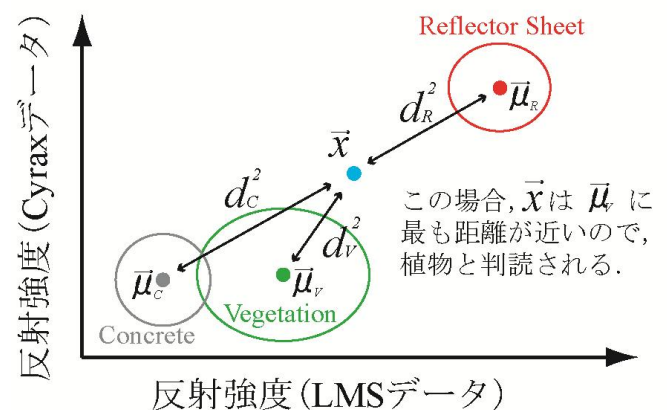


図 5-4 標準ユークリッド距離による判読のイメージ

6. 判読結果とその検証

6.1. 判読結果の可視化

まず、判読結果を目視検証するため、3 次元グラフソフトを使用して、判読結果を色分けし、点群を描画した。図 6-1 に可視化した判読結果を示す。左が判読対象エリア、右が判読結果である。判読対象エリア上

部に誤判読があることが分かる。

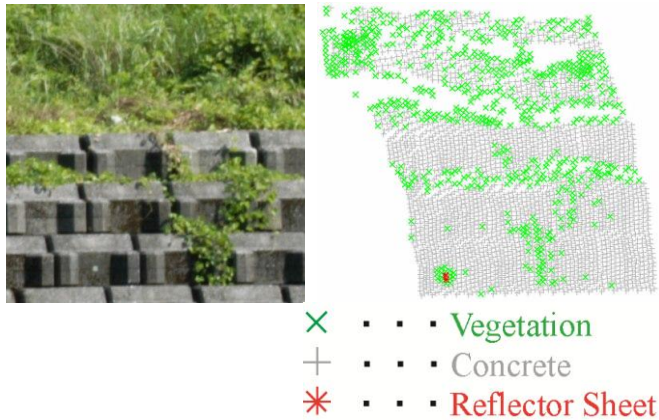


図 6-1 判読対象エリアとその判読結果

6.2. フィルター処理

目視による検証の結果、判読結果には少々誤判読が発生していた。その対策として、判読結果にフィルター処理を施した。基本的に、コンクリート構造物というものはある程度の大きさを持っているものである。判読結果として、コンクリートと判読された点の周囲が異なる判読結果である場合は、誤判読である可能性が高い。そこで、コンクリートと判読された点から半径 12cm の球状の領域に存在する点群の判読結果を参照し、コンクリートと判読された点数が領域内全体の点数の 1/4 以下であれば植物へ判読結果を変更するという処理を行った。半径 12cm という範囲は、LMS-Z210 における LiDAR から距離 50m の地点での測定間隔が約 6.3cm であることから決定した。また、フィルター処理による判読結果の状況を図 6-2 に示す。

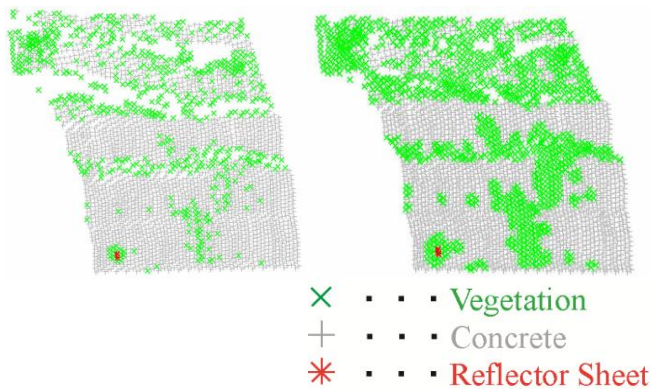


図 6-2 フィルター処理前、処理後の判読結果

図 6-1 左写真から、判読結果のエリア内上部には、植物が繁茂していることがわかる。フィルター処理を施したことで、護岸工上部の誤判読がかなり減少したことがわかる。

6.3. 判読正解率の検証

図 4-1 に示した検証エリアにて、判読の正解率を検証した。これらの検証エリアは、写真からの目視判読により、全域がほぼ植物、コンクリート、反射シート

であろうとそれぞれ判断されたエリアである。このエリア内での判読正解率を求めることで判読の評価を行った。検証結果を以下の表 6-1 に示す。

表 6-1 各検証エリアにおける検証結果

検証エリア	抽出点数	正解点数	正解率(%)
コンクリート 1	484	459	94.835
コンクリート 2	399	388	97.243
植物 1	1546	1238	80.078
植物 2	578	306	52.941
植物 3	540	228	42.222
反射シート 1	16	11	68.750
反射シート 2	16	8	50.000

表 6-1 より、コンクリートの判読は 90%以上とかなり高い正解率で実現できたことがわかる。しかし、植物の判読では正解率のばらつきが大きい結果となった。「植物 2」や「植物 3」では、コンクリートに誤判読される点が多くあり、正解率は 52%、42%と低い結果となった。これは、植物が比較的一様に分布している「植物 1」に比べて、他の 2 つのエリアでは様々な種類の植物が繁茂しており、葉の向きや色が一緒ではないため、反射強度が安定しなかったのではないかと考えられる。反射シートの判読は、予想に反して正解率が低い結果となった。既往研究(稲田, 2008)より、反射シートはレーザー光に対してハレーションを起こすことが分かっている。今回の計測でも反射シートがハレーションを起こしていると考えられる。ハレーションを起こしている点は周辺のコンクリート部分よりも高い反射強度を示すが、反射シートそのものほど高い反射強度を示すことはないため、反射シートを囲むように植物と誤判読された点が発生したものと考えられる。

7. 考察

地上型 LiDAR のレーザー波長特性を利用した物体判読手法の開発を行った。検証の結果、コンクリートの判読正解率の高さから、長者地すべりにおける護岸工の自動抽出は実現可能であることが分かった。また、本研究で使用した LiDAR データは計測対象物が護岸工であり、あまり奥行きのあるデータではなかったため、LiDAR からの距離によるレーザー光減衰の影響が考慮されていない。今後の課題は、反射強度のばらつきに、より対応したサンプリングデータの取得方法、距離によるレーザー光減衰に対する対策手法の開発である。

8. 参考文献

- 1) 高木方隆, 国土を測る技術の基礎
- 2) 稲田涼, レーザースキャナデータを用いた断面図作成プログラムの開発, 高知工科大学 2008 年度学士論文
- 3) 宮崎倫理, レーザースキャナによる幾何補正手法の精度向上, 高知工科大学 2008 年度修士論文
- 4) 山口顕誠, レーザースキャナデータにおける計測距離と精度との関係, 高知工科大学 2006 年度学士論文